

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.S0.006

空调办公室热环境的数值模拟

刘敏,李明海,赵明强

(西安建筑科技大学 信息与控制工程学院,西安 710055)

摘要:建立办公室的CFD模型,以雷诺平均方程和 $k-\epsilon$ 两方程紊流模型为基础,应用Monte Carlo法,考虑太阳辐射产生附加热流的影响,研究了室内速度分布、温度场、PMV值及PM2.5浓度场。计算结果和实验数据表明:该仿真模型能准确计算室内热环境,散流器送风不合理,风速分布不均,导致PMV值偏大,人体会感觉较热,需要进一步优化送风口的风速或开度大小;室内温度均值在 $26.15\text{ }^{\circ}\text{C}$,上下浮动不超过 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度分布均匀,但电脑、人体和荧光灯散热对其附近温度场分布有影响;PM2.5含量为良,室内物品表面细微颗粒对PM2.5的浓度有一定影响。

关键词:办公室;速度分布;温度场;热舒适;PM2.5

中图分类号:TU831 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)S0-0028-04

Study on Numerical Simulation of Thermal Environment in an Air-conditioned Office

Liu Min, Li Minghai, Zhao Mingqiang

(School of Information and Control Engineering, XiAn University of Architecture and Technology, Xian 710055, P. R. China)

Abstract: We used Monte Carlo method and considered the additional heat generated by solar radiation to establish the CFD models of the Office, which based on Reynolds-averaged equations and two equation $k-\epsilon$ turbulence. It studied the velocity distribution, temperature fields, PMV value and PM2.5 concentration fields in the Office. Calculation results and experimental data show that: the simulation model can accurately calculate the indoor thermal environment. The diffuser is not reasonable and the wind speed distribution is uneven. They cause the PMV value is big and we will feel hot. So it needs to further optimize the wind outlet or opening size. The average indoor temperature is at 26.15 degrees. It is uniform no more than plus or minus 2 degrees. But the heat emitted from the computer, human body and fluorescent lamps have influenced the temperature field distribution nearby. The content of PM2.5 is good and the fine particles on the surface of the indoor article have a certain influence on the concentration of PM2.5.

Key words: office; velocity distribution; temperature fields; thermal comfort; PM2.5

现今,人们大部分时间(90%)都在室内度过^[1]。室内空气环境不甚理想,研究表明,良好的室内空气质量是健康人居的必要条件,而PM2.5是影响日常室内空气质量的主要因素^[2]。存在的主要问题是:室内的气流组织不合理,不仅温度分布不均,而且污

染物不能及时有效的排放,极大地影响了人们的舒适性,造成能量的严重浪费。因此,合理的气流组织能使室内保持合适的速度、温度范围,缩短污染物滞留时间,符合人体的舒适性,降低能耗和运行成本,具有现实意义。

收稿日期:2015-03-15

基金项目:建筑智能化系统(18710318216)

作者简介:刘敏(1990-),男,硕士,主要从事建筑智能化系统研究,(E-mail)1658215291@qq.com。

1 模型的建立

1.1 CFD 模型的简化

以西安市某写字楼一间标准办公室为研究对象,有一个工作人员,一台电脑,一盏 T5 型双管荧光灯,房间长 3.9 m,宽 5.7 m,高 2.8 m,玻璃窗为普通玻璃,厚度为 5 mm,办公桌长 0.7 m,宽 1.4 m,高 0.8 m,送风口位于顶部,采用方形散流器九点风口模型^[3],其大小为 0.5 m×0.3 m,回风口大小为 0.5 m×0.5 m,门的尺寸为 1 m×2.2 m,窗户的大小为 1.8 m×1.5 m,距地板高度 0.9 m,东墙为外墙,其余三面墙均为内墙,邻室楼道均无传热。

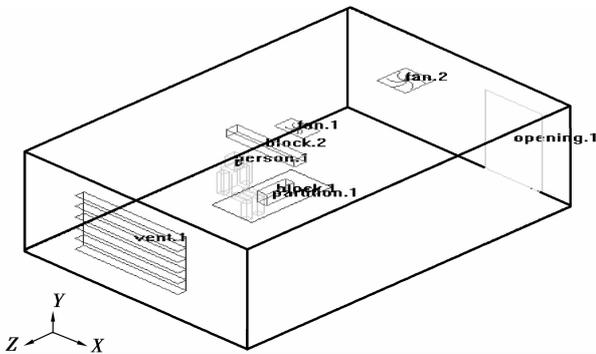


图 1 办公室的 CFD 模型

1.2 数学方程的建立

对雷诺时均方程,用湍流涡粘度模型处理雷诺应力项,方程的封闭采用可信度较高的 k-ε 两方程模型^[4-5],并作如下假定:1)室内空气为不可压缩流且符合 Boussinesq^[6-8]假设;2)室内流动和传热视为稳态过程;3)气流为低速不可压缩流动,可忽略由流体粘性力作功所引起的耗散热^[9];4)室内封闭性能良好,忽略漏风的影响。控制方程通用形式为^[10]:

$$\text{div}(\rho U \varphi) = \text{div}(\Gamma_{\varphi} \text{grad} \varphi) + s_{\varphi} \quad (1)$$

式中:φ 通用变量,代表 u, v 和 w 等求解变量;Γ_φ 为扩散系数;s_φ 为源项。

PMV 是 Fanger 在热舒适方程的基础上建立起来的,综合考虑了人体活动情况、衣着情况、空气温度、湿度、流速、平均辐射温度等 6 个因素^[11],它适用于各种环境。

表 1 热感觉分级指标

热感觉	热	暖	微暖	适中	微凉	凉	冷值
PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

1.3 边界条件

室外温度为 33 ℃,根据不同墙的结构确定其换

热系数,壁面、固体隔板按无滑移的 Spalding-Layor 壁面函数法^[12]处理,室内人体散热量按 75 W/人计算,玻璃窗的太阳辐射热负荷用 Monte Carlo 法^[13-14],T5 型双管荧光灯散热量为 2×35 W,电脑的散热量为 108 W/台,并将它们作为能量方程的热生成源项。

送风口:W=2.5 m/s,u=v=0(W 为送风口垂直方向的气流,u 和 v 为相互垂直的两水平方向的气流速度);t=26 ℃,k=0.02,ε=0.008 0。

回风口: $\frac{\partial K}{\partial n} = \frac{\partial \epsilon}{\partial n} = 0$ 为压力出口边界,出口压力为 0.1 MPa,k 和 ε 自由滑动^[15]。

1.4 试验安排

在 y=1.4 m 取测试断面,测试点的分布如图 2,测试环境:晴天,气温 33 ℃,相对湿度 50% RH,这些测点能较全面地反映办公室内热环境分布情况。试验时送风速度为 2.5 m/s,出口压力为 0.1 MPa,人坐在椅子上,室内无人走动,采用 BM4011-DTU3 空气质量检测仪来测量温度和 PM2.5,用 XD-F30J 型风速仪来测试风速,每次测量的误差在±2%内,每一测试点测量 5 次,取平均值作为该点的实测值。

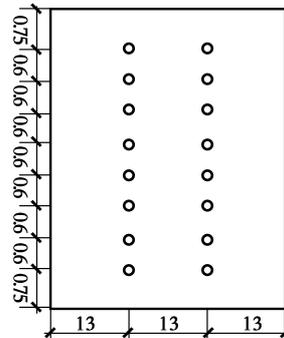


图 2 室内侧点分布的水平截面图

2 仿真和实验结果对比

模拟结果如图 3~9 所示。

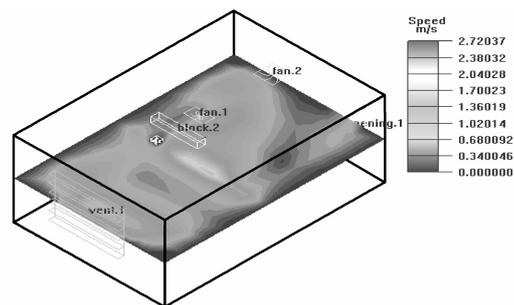


图 3 y=1.4 m 断面速度云图

由图 3 知贴近人体处风速在 0.3 m/s 左右,虽然不会形成吹风感,但室内风速分布不均,室内形成的涡流使靠近窗户处风速普遍偏大,平均风速为 0.79 m/s,根据《采暖通风与空气调节设计规范》中舒适性空调夏季风速小于 0.3 m/s 的规定知人感觉不舒适,电脑显示屏在风口下方,且室内形成的涡流以垂直于显示屏,沿 x 轴负方向流经此处,故形成较大的风速,高达 2.2 m/s,有利于电脑散热,同时显示屏也起到了一定的阻挡作用,使吹向人脸的风速降低。

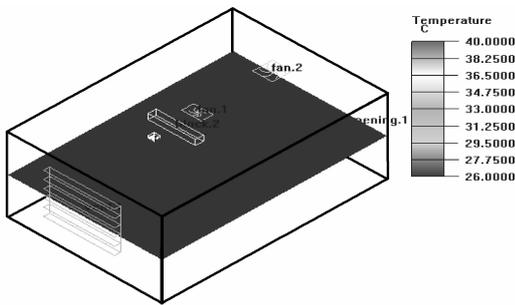


图 4 $y=1.4$ m 断面温度云图

由图 4 知室内温度均值在 26.15 $^{\circ}\text{C}$,上下浮动不超过 ± 2 $^{\circ}\text{C}$,温度分布均匀,比较适宜,电脑散热较大,显示屏附近温度达到了 40 $^{\circ}\text{C}$ 。

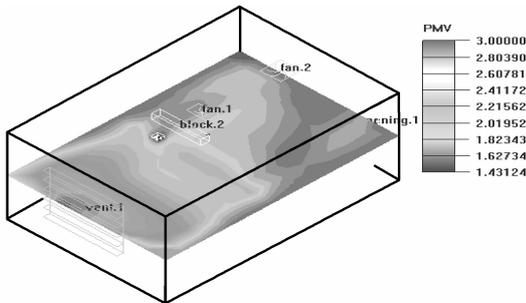


图 5 $y=1.4$ m 断面 PMV 云图

由图 5 知人附近的 PMV 值接近 3,根据表 1 知,人会感觉热,由于电脑是一个功率较大的热源,人坐立时前方的风速在室内涡流的影响下,将电脑的热量吹向人体,室内其它地方由于风速分布不均,气流流动性不好,导致 PMV 值偏大。

仿真时设定 PM2.5 含量为 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 对应图中 0.355,由图 6 知,人体周围测试点的值为 0.09,由于测试点网格大小为 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m} \times 0.15\text{ m} = 0.0375\text{ m}^3$,故人体周围 PM2.5 含量为 $1 \times 0.09 \times 30 / 0.0375 = 72\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,根据空气质量评价标准,PM2.5 含量在 50~100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时,空气质量为良。

由图 6~9 知,风速、温度和 PM2.5 模拟值和实验值很接近,实测风速比模拟值稍微偏低,可能是

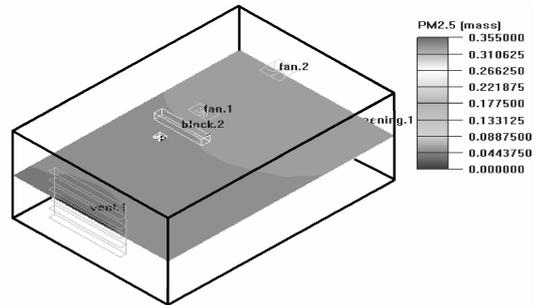


图 6 $y=1.4$ m 断面 PM2.5 云图

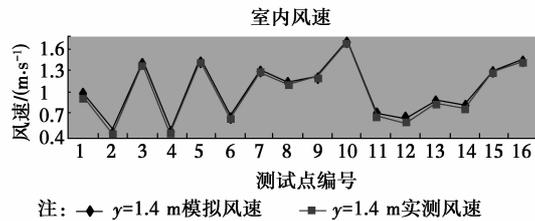


图 7 风速模拟值和实测值的对比

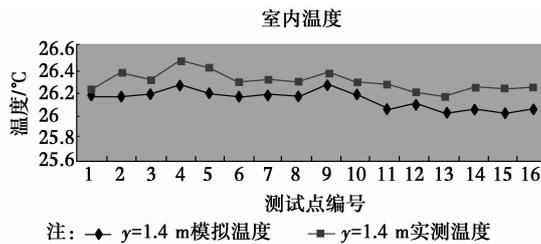


图 8 温度模拟值和实测值的对比

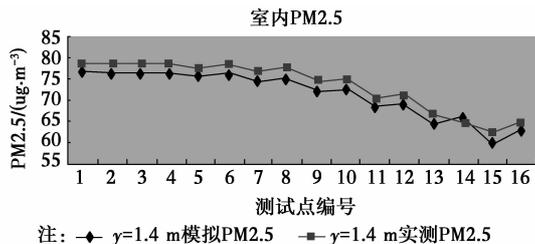


图 9 PM2.5 模拟值和实测值的对比

实验仪器引起室内气流的变化;模拟温度比实测值低,是室外温度变化引起的;模拟 PM2.5 浓度比实测值稍小,可能与室内物品表面的细颗粒物有关。

3 结论

1)用 Airpak 软件对某空调办公室室内热环境进行研究,模拟结果与实验结果基本一致,可以有效的预测速度分布、温度场、PMV 值及 PM2.5 浓度场,从而为设计舒适的办公环境提供依据,缩短设计周期,节省设计费用。

2)室内风速分布不均,不合理的气流组织导致 PM2.5 含量处于空气质量评价标准中良的范围之内,室内物品表面的细微颗粒对 PM2.5 的浓度有一

定的影响。

3)电脑、人体和荧光灯散热对其附近温度场分布有影响,室内温度均值在 26.15 ℃,上下浮动不超过±2 ℃,温度分布均匀,比较适宜。

4)根据 ISO7730^[16] 中的 PMV-PPD 指标,由计算结果得到,散流器送风不合理,人体会感觉比较热,需要进一步优化送风口的风速或开度大小。

参考文献:

[1] 徐丽,翁培奋,孙为民. 三种通风方式下的室内空气组织和室内空气品质的数值分析[J]. 空气动力学学报, 2003, 21(3):311-319.

[2] 石华东. 室内空气 PM2.5 污染的国内研究现状及综合防控措施[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(6):111-114.

[3] 李先庭,赵彬. 室内空气流动数值模拟[M]. 北京:机械工业出版社, 2009 :78-79.

[4] 鹿世化,黄虎,李奇贺. 数值模拟用于室内空气质量控制的研究进展[J]. 暖通空调, 2007, 37(5):40-46.

[5] 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2001.

[6] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

[7] Baskaya S, Eken E. Investigation of room air flow regarding effects of occupants, inlet/outlet locations, inlet velocity, and winter/summer conditions [J]. International Journal of Heat and mass Transfer, 2003, 46(7):1147-1156.

[8] Noh K C, Han C W, Oh M D. Effect of the airflow rate of a ceiling type air-conditioner on ventilation effectiveness in a lecture room [J]. International Journal of Refrigeration, 2008, 31(2):180-188.

[9] 荆有印,齐晓唯,周春丽,等. 空调羽毛球场馆内三维湍流流动的数值模拟与研究[J]. 制冷与空调, 2005, 5(3): 41-43.

[10] 刘佳,张利明. 地铁车厢条缝送风方式数值模拟[J]. 制冷与空调, 2010, 10(4):72-75.

[11] 赵恒. 空调列车室内微环境研究现状综述[J]. 铁道机车车辆, 2005, 25(1):44-48.

[12] 丛晓春,张旭,张明. 列车车厢内气流分布的数值计算与测定[J]. 中国铁道科学, 2003, 24(5):101-105.

[13] 赵忠超,史自强,靳谊勇. 非空态与空态空调列车室内空气组织的数值模拟与试验研究[J]. 工业建筑, 2009, 39(增刊):126-131.

[14] 吴俊云,陈国娟,吴兆林,等. 风口布置对空调车室内流动与传热影响的数值研究[J]. 上海理工大学学报, 2007, 29(4):395-398.

[15] 向立平,王汉青. 空调客车内气流分布的人体[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2009, 40(5):1-5.

[16] 景胜蓝,李百战,李楠,等. 基于热感觉指标基于热感觉指标确定热舒适判据的一项国际标准简介[J]. 暖通空调, 2010, 40(8):110-113.

(编辑 张 苹)